

การหมักย่อยเศษก้านและใบไม้รวมร่วมกับเศษอาหารในสภาวะไร้ออกซิเจนแบบถังหมักเดี่ยวและแบบสองถัง

Anaerobic Digestion of Mixed Leaf and Petiole Waste and Food Waste in Single and Two Anaerobic Reactors

กสินประทุม ปัญญาปิง^{1*} จุฑามาศ มณีสว่าง¹ และนัฐญา บุญศิริ¹

Klinpratoom Panyaping^{1*} Jutamas Maneesawang¹ and Nuttaya Boonsiri¹

Received: June 1, 2019; Revised: September 24, 2019; Accepted: September 24, 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ได้จากการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด และเศษอาหารซึ่งผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ดัดแปลงจากฟาร์มสุกร โดยใช้ถังหมักแบบถังเดี่ยวและสองถังรวม 4 ชุด ทำการทดลองชุดละ 2 ซ้ำ ใช้อัตราส่วนวัสดุหมัก คือ เศษก้านและใบไม้รวมและเศษอาหาร 3 : 2 และอัตราส่วนของเชื้อต่อเชื้อจุลินทรีย์ 0.2 ผลการศึกษาพบว่าชุดทดลองแบบถังเดี่ยวและสองถังมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.43 - 8.03 และ 6.01 - 7.59 ตามลำดับ มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 - 35 °C การหมักแบบสองถังให้ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุด 144.5 ลิตร และ 104 ลิตร ตามลำดับ การหมักแบบถังเดี่ยวซึ่งเป็นชุดควบคุมที่หมักเฉพาะเศษอาหารให้ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนน้อยที่สุด 120.75 และ 14 ลิตร ตามลำดับ ใช้เวลาเก็บกักที่เท่ากันนาน 22 วัน การหมักแบบสองถังในสภาวะที่เป็นกลางให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่าการหมักแบบถังเดี่ยวอย่างมาก และมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มากที่สุดในรูปของแข็งรวม ของแข็งระเหย และซีโอดีร้อยละ 75 78 และ 82 ตามลำดับ สรุปได้ว่าการหมักแบบสองถังโดยการปรับสภาพความเป็นกลางมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงกว่าการหมักแบบถังเดี่ยว จึงมีข้อเสนอแนะให้มีการศึกษาและพัฒนาการหมักแบบสองถัง ในสภาวะเป็นกลางร่วมกับการใช้ปัจจัยอื่น ๆ รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์ที่เป็นของแข็ง

คำสำคัญ : เศษก้านและใบไม้รวม; เศษอาหาร; การหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจน; ถังหมักเดี่ยว; ถังหมักแบบสองถัง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Chiang Mai

* Corresponding Author E - mail Address: klin41@hotmail.com, klinpratoomp@yahoo.com

Abstract

The purpose of this study was to determine biogas and methane yield, including the organic removal efficiency obtained from anaerobic digestion of mixed leaf: mango, lychee, and tree and food waste mixed with the inoculum from swine farm. Four sets of experiment using single and two anaerobic reactors were performed. Each experiment was two replicates. The ratio of mixed leaf and food waste 3 : 2, the ratio of waste and inoculum 0.2 were used. The result showed that the pH values of single and two anaerobic reactors were in the range of 6.43 - 8.03, and 6.01 - 7.59, respectively. The temperatures were in the range of 25 - 35 °C. Co-digestion in two anaerobic reactors provided the highest biogas and methane yield 144.5 L, and 104 L, respectively. Single digestion in single reactor, that was control set using only food waste in digestion, provided the lowest biogas and methane yield 120.75 L, and 14 L, respectively. The hydraulic retention time was the same in 22 days. Co-digestion in two anaerobic reactors under the neutral condition provided much more biogas and methane yield than that of the single anaerobic reactor. Besides, co-digestion in two anaerobic reactors under the neutral condition provided the highest organic removal efficiency in terms of total solids, volatile solids, and COD were 75 %, 78 %, and 82 %, respectively. In conclusion, co-digestion under neutral condition in two anaerobic reactors had the effect on biogas and methane generation more than that in the single anaerobic reactor. It is recommended to study and develop co-digestion in two anaerobic reactors using other factors, including the application for biogas production from solid organic waste.

Keywords: Mixed Leaf; Food Waste; Anaerobic Digestion; Single Anaerobic Reactor, Two Anaerobic Reactors

บทนำ

จากปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาเศษขยะใบไม้ต่าง ๆ ในที่โล่งภายหลังการเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต้นไม้ โดยเฉพาะในเขตภาคเหนือมีการเผาปลูग्มะม่วง ลิ้นจี่ และลำไยเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาดังกล่าวยังขาดการจัดการที่ดี ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง จึงมีแนวคิดในการใช้ประโยชน์สิ่งเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม โดยการนำเศษเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนก๊าซหุงต้มได้

ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย เช่น จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด มาช่วยย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจน กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิต

ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนให้มีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลง ตามลำดับชั้นต่าง ๆ ของการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่ กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrogenesis) อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) และเมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis) จนได้ผลผลิตคือก๊าซมีเทน [1] - [2]

จากการศึกษาที่ผ่านมา [3] - [6] พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพแบบสองขั้นตอน เป็นการแยกขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์และขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตกรดอินทรีย์และเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสม และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้น และพบว่าการแยกถังปฏิกิริยาสามารถปรับคุณสมบัติของเหลวหรือวัตถุดิบที่เข้าระบบให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนแบบถังเดียวและสองถัง โดยการปรับสภาวะการทำงานของถังทั้งสองแบบให้มีความเป็นกลาง แตกต่างจากการหมักแบบสองขั้นตอนซึ่งไม่มีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง และแยกถังหมักในการปรับสภาพของวัสดุหมักเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ก่อนนำไปขยายผลในการศึกษาและใช้งานต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนของสิ่งเศษเหลือทิ้งจำพวกเศษก้านและใบไม้ ได้แก่ มะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่น เศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคและเชื้อจุลินทรีย์หรือชีวมูลจากฟาร์มของเกษตรกร ซึ่งใช้เป็นเชื้อตั้งต้นโดยใช้ถังหมักขนาด 20 ลิตร และอัตราส่วนของเสียต่อเชื้อจุลินทรีย์ 0.2 [7] โดยทำการป้อนอาหารเข้าระบบ 4 ครั้ง และทำการปรับสภาพให้มีความเป็นกลาง เพื่อให้ทราบผลผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทน รวมทั้งประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ได้จากการหมักย่อยของถังหมักทั้งสองแบบ สำหรับการพัฒนาเป็นแหล่งผลิตพลังงานสะอาดที่ช่วยลดปัญหาหมอกควัน และมลพิษสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์และวัสดุต่าง ๆ ดังนี้

- 1) เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น จากฟาร์มสุกรดอนแก้ว ตำบลดอนแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่
- 2) เศษอาหารจากตลาดเทพมงคล หลังมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 3) เศษก้านและเศษใบไม้ ได้แก่ มะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด ที่อัตราส่วน สด : แห้ง 3 : 1 ซึ่งได้จากการศึกษา [8]
- 4) ถังหมักก๊าซชีวภาพ 20 ลิตร จำนวน 12 ใบ
- 5) ถังเก็บแก๊สขนาด 10 ลิตร จำนวน 12 ถัง
- 6) เครื่องปั่นย่อยใบไม้และกิ่งไม้แบบหมุนสับ
- 7) เครื่องปั่นอาหาร จำนวน 1 เครื่อง

รายละเอียดชุดทดลองการหมักย่อยแบบถังเดียวและสองถัง

ชุดทดลองการหมักย่อยแบบถังเดียวและสองถัง ประกอบด้วยวัสดุที่ใช้ในการหมักดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดทดลองการหมักย่อยแบบถังเดี่ยวและสองถัง

ชุดที่	รายละเอียดชุดทดลอง	จำนวนชุดทดลอง
1. SR	เศษก้านและใบไม้รวม 600 กรัม + เศษอาหาร 400 กรัม + เชื้อจุลินทรีย์ 10 ลิตร	2
2. CSR	เศษอาหาร 400 กรัม + เชื้อจุลินทรีย์ 10 ลิตร	2
3. TR	SR1 : เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น 5 ลิตร SR2 : เศษก้านใบไม้รวม 600 กรัม + เศษอาหาร 400 กรัม + เชื้อจุลินทรีย์ 5 ลิตร	2
4. CTR	CSR1 : เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น 5 ลิตร CSR2 : เศษอาหาร 400 กรัม + เชื้อจุลินทรีย์ 5 ลิตร	2

หมายเหตุ : การหมักแบบสองถังประกอบด้วยชุดถังหมักเดี่ยว จำนวน 2 ชุด

SR ชุดถังหมักแบบถังหมักเดี่ยว (Single Reactor)

CSR ชุดควบคุมแบบถังหมักเดี่ยว (Control Single Reactor)

TR ชุดถังหมักแบบสองถัง (Two Reactors) ประกอบด้วย ชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 1 (SR1) และชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 2 (SR2)

CTR ชุดควบคุมแบบสองถังหมัก (Control Two Reactors) ประกอบด้วย ชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 1 (CSR1) และชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 2 (CSR2)

การเตรียมระบบหมักและทำการเดินระบบหมัก

ประกอบด้วยชุดทดลองถังหมักก๊าซชีวภาพแบบถังเดี่ยวและแบบสองถัง ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 1 - 2)

1) ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพแบบถังหมักเดี่ยว (Single Reactor: SR) (รูปที่ 1)

ก. วิเคราะห์หาค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) ของแข็งระเหย (Volatile Solids: VS) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand: COD) หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายในรูปของซีโอดี (COD) ของวัสดุหมัก และ pH ของตัวอย่างวัสดุที่ใช้ในการหมัก และตรวจวัดอุณหภูมิ

ข. นำเศษก้านและใบไม้รวม เศษอาหาร ที่อัตราส่วน 3 : 2 กวนผสมให้เข้ากันกับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นจำนวน 10 ลิตร แล้วใส่ลงในถังหมักก๊าซแบบถังเดี่ยว

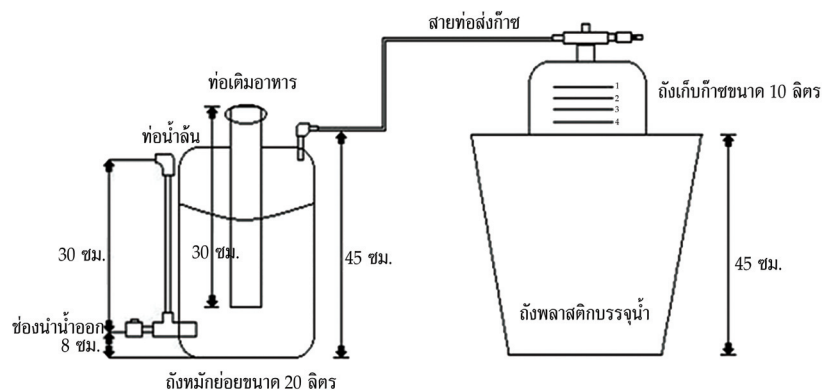
ค. เก็บน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่า TS, VS, pH, COD, และอุณหภูมิก่อนเข้าระบบ และทำการปิดฝาถังหมัก

ง. ตรวจวัดปริมาณก๊าซ pH และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทุกวัน

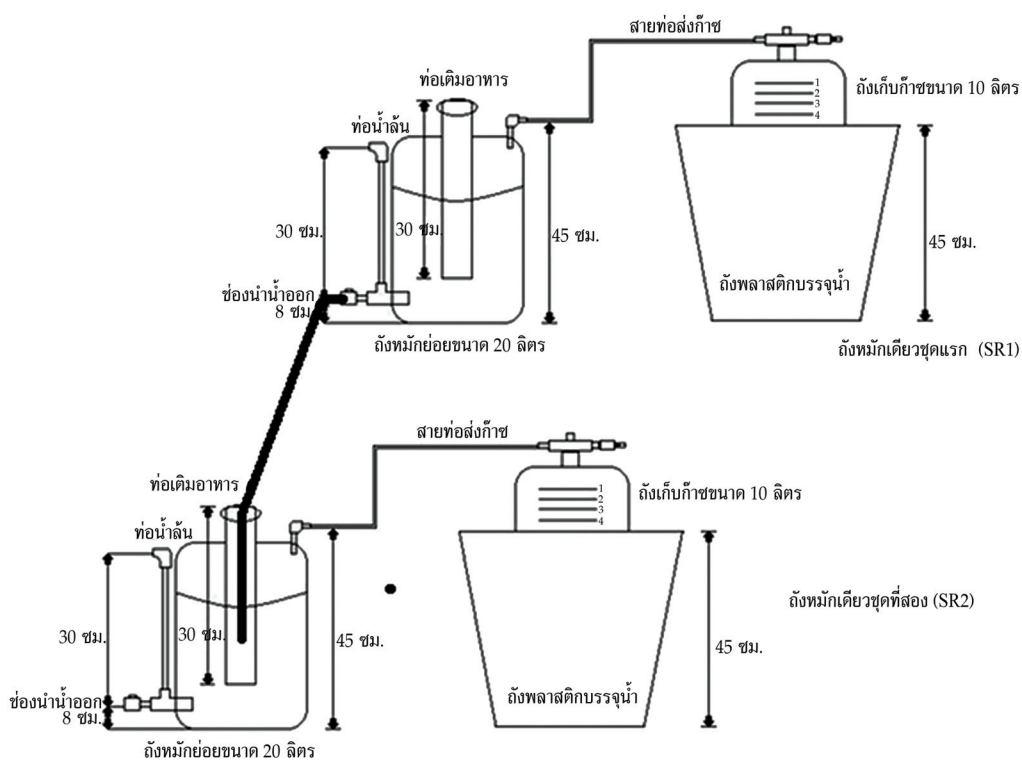
จ. ทำการป้อนอาหาร คือ เศษอาหาร โดยใช้กรวยปากปิดเสียบต่อเข้ากับท่อเดิมอาหารเมื่อปริมาณก๊าซเริ่มคงที่ กล่าวคือ ไม่มีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีก จึงทำการป้อนเศษอาหารทุก ๆ 3 วัน จำนวนทั้งหมดรวม 4 ครั้ง และทำการกวนผสมแต่ละครั้งนาน 15 นาที ซึ่งเป็นการกวนซ้ำในถังหมักทุกครั้งที่มีการป้อนเศษอาหาร

ฉ. วัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพก่อนการป้อนเศษอาหารครั้งที่ 1 - 4 และวันสิ้นสุดการเดินระบบ

ช. ตรวจวัดปริมาณ TS, VS, pH, COD, และอุณหภูมิ เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ



รูปที่ 1 ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพแบบถังหมักเดียว



รูปที่ 2 ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพแบบสองถัง

2) ชุดถังหมักก๊าซชีวภาพแบบถังหมักสองถัง (Two Reactors: TR) (รูปที่ 2)

ก. วิเคราะห์หาค่า TS, VS, COD, และ pH ของตัวอย่างวัสดุที่ใช้หมัก เช่นเดียวกับชุดถังหมักแบบถังเดียว

ข. นำเศษก้านและใบไม้รวม เศษอาหาร และเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น ที่อัตราส่วนและจำนวนเท่ากับชุดถังหมักแบบถังเดียวมาผสมให้เข้ากัน แล้วใส่ลงในถังหมักก๊าซชีวภาพแบบถังเดียว ซึ่งเป็นถังหมักชุดแรก

ค. เก็บน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่า TS, VS, COD, pH, และอุณหภูมิก่อนเข้าระบบ และทำการปิดฝาถังหมัก

ง. ตรวจวัดปริมาณก๊าซ pH และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทุกวัน

จ. วัดองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ก่อนทำการถ่ายเทวัสดุหมักจากถังหมักก๊าซแบบถังเดียว ซึ่งเป็นถังหมักชุดแรกไปยังถังหมักก๊าซแบบถังเดียวอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเป็นถังหมักแบบถังเดียวชุดที่สอง

ฉ. ทำการถ่ายเทวัสดุหมักจากถังหมักก๊าซแบบถังเดียวชุดแรก โดยใช้ท่อสายยางเสียบต่อจากก๊อกที่อยู่ด้านล่างของถังหมักชุดแรก ไปยังก๊อกที่อยู่ด้านล่างของถังหมักชุดที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 2

ช. ทำการป้อนเศษอาหารและทำการกวนผสม หลังจากทำการถ่ายถังหมักแล้ว 2 วัน โดยใช้วิธีเดียวกับแบบถังเดียวรวม 4 ครั้ง

ซ. วัดองค์ประกอบก๊าซ ก่อนการป้อนเศษอาหารครั้งที่ 1 - 4 รวมทั้งวันสิ้นสุดการเดินระบบ

ณ. ตรวจวัดปริมาณ TS, VS, pH, COD, และอุณหภูมิ เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ

พารามิเตอร์และการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจากผลการทดลอง

ประกอบด้วยค่า TS, VS, COD, และ pH ของวัสดุหมักทุกชนิด วัสดุหมักก่อนและหลังการเดินระบบ และค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids: MLVSS) ของเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นรวมทั้งค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของเศษก้านและใบไม้รวมและเศษอาหารตามวิธีมาตรฐาน [9] และทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนในหน่วยลิตร โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่คำนวณได้มาจากค่าร้อยละของมีเทนที่วัดได้โดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี (Model 7890, Agilent, USA) และค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น รวมทั้งวัดค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้ และคำนวณหาค่าร้อยละของประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ TS, VS, และ COD ตลอดจนคำนวณหาความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ได้

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของลักษณะทางเคมีของวัสดุหมักที่ใช้ในการหมักย่อย

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ใช้ในการหมักย่อยสลายเศษก้านใบไม้กับเศษอาหาร โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมักย่อยที่นำมาใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมี				
	TS (mg/l)	VS (mg/l)	COD (mg/l)	MLVSS (mg/l)	pH
เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น	40,033±3,970.41	21,308±3,535.53	56,695±992.07	21,600±141.42	8.06±0.01
เศษอาหาร	168,763±922.77	148,218±1,488.46	264,000±26,870.06	-	5.72±0.01
เศษก้านและใบไม้รวม	60,280±509.12	47,260±2,124.86	61,689±2,976.92	-	5.99±0.00

โดยพบว่าเศษอาหารมีค่า TS, VS, และปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีมากกว่าเศษก้านและใบไม้รวม และเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น และยังมีค่าความเป็นกรดมากที่สุด เนื่องจากเศษอาหารมีสารอินทรีย์สูงกว่าเชื้อจุลินทรีย์และเศษก้านและใบไม้รวม สอดคล้องกับผลการศึกษา [4] ส่วนเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด ร่วมกับเศษอาหาร มีค่าผลการวิเคราะห์ C/N 25.18 ซึ่งแตกต่างจากค่า C/N ของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด (47.35) [10] และ 30.90 ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน [11]

2. ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของวัสดุหมักย่อยก่อนเริ่มเดินระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของวัสดุหมักย่อยก่อนเริ่มเดินระบบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของวัสดุหมักย่อยก่อนเริ่มเดินระบบ

ชุดทดลอง	TS เข้าระบบ (mg/l)	VS เข้าระบบ (mg/l)	COD (mg/l)	VS/TS	pH	
					SR1	SR2
1. SR	103,693±9,804.04	80,975±1,725.34	93,676.6±3,230.98	0.78	7.42±0.06	-
2. CSR	87,290±2,545.58	65,165±424.26	85,108.8±807.80	0.75	7.22±0.04	-
3. TR	115,780±14,757.32	89,288±11,395.03	95,961.6±4,846.79	0.77	7.28±0.01	7.40±0.04
4. CTR	83,940±2,927.42	59,948±173.24	81,110.4±1,615.60	0.71	7.42±0.06	7.30±0.01

หมายเหตุ	SR	ชุดถังหมักแบบถังหมักเดียว (Single Reactor)
	CSR	ชุดควบคุมแบบถังหมักเดียว (Control Single Reactor)
	TR	ชุดถังหมักแบบสองถัง (Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดียวชุดที่ 1 (SR1) และชุดถังหมักเดียวชุดที่ 2 (SR2)
	CTR	ชุดควบคุมแบบสองถังหมัก (Control Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดียวชุดที่ 1 (CSR1) และชุดถังหมักเดียวชุดที่ 2 (CSR2)

จากตารางที่ 3 ก่อนเริ่มเดินระบบค่า pH ของวัสดุหมักพบว่ามีค่าความเป็นกรด จึงมีการปรับค่า pH โดยการเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้มีความเป็นกลาง ซึ่งจะช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดีขึ้น ค่า TS, VS, และค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD ก่อนเริ่มเดินระบบของชุดทดลองทั้งหมด มีค่าสูงถึงสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนของ VS/TS ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมทั้งสองแบบ พบว่าชุดทดลองทั้งหมดมีค่าอัตราส่วน VS/TS อยู่ในช่วงที่สูงใกล้เคียงกัน (0.71 - 0.78) เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าการกวนผสมของวัสดุแบบกวนช้ามีผลต่อการหมักย่อยได้ลดลง แต่การกวนผสมให้เข้ากันก่อนการเดินระบบหมักมีส่วนช่วยให้เกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น

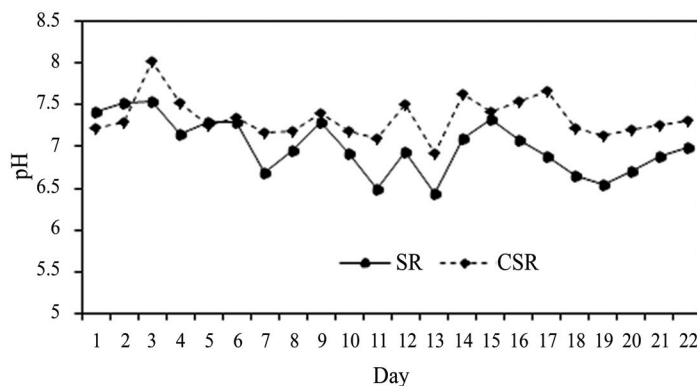
3. ผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อย

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด ร่วมกับเศษอาหาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (pH) ของชุดถังหมักย่อยแบบถังเดี่ยว (SR)

ค่า pH เฉลี่ยของชุดถังหมักย่อยแบบถังเดี่ยว ได้แก่ ชุดทดลอง SR ซึ่งเป็นการหมักร่วมของเศษก้านและใบไม้รวมร่วมกับเศษอาหาร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อยู่ระหว่าง 6.43 - 7.55 ส่วนชุดทดลอง CSR ซึ่งเป็นการหมักย่อยเศษอาหารเพียงอย่างเดียวมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.92 - 8.33 ซึ่งเป็นผลจากการปรับ pH ของระบบหมัก รวมทั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในระบบที่อุณหภูมิระหว่าง 25 - 35 °C ซึ่งจัดเป็นจุลินทรีย์แบบ Mesophilic [9] แสดงว่ามีการหมักย่อยเกิดขึ้นภายในระบบหมักของชุดทดลอง SR ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่เป็นแบคทีเรียชนิด Mesophilic ที่มีการทำงานอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 25 - 40 °C [9]

การเปลี่ยนแปลงของค่า pH มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นผลจากการปรับค่า pH ให้มีความเป็นกลาง

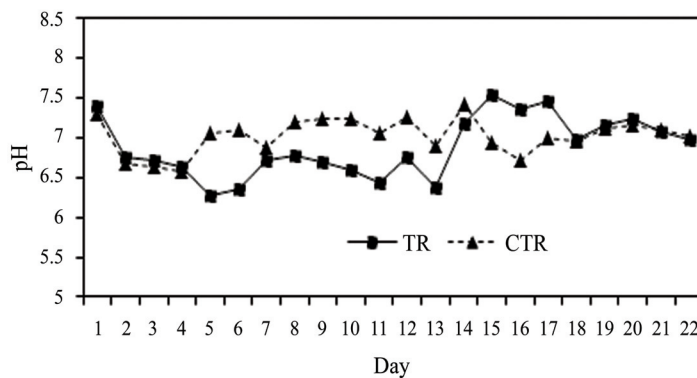


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของชุดการหมักย่อยแบบถังเดี่ยว

พบว่าค่า pH ในชุดทดลอง CSR มีค่าสูงกว่าถัง SR เล็กน้อย เนื่องจากการหมักย่อยเศษอาหารเพียงอย่างเดียว จึงทำให้มีสภาวะความเป็นกรดที่มากกว่า

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เฉลี่ยของชุดถังหมักย่อยแบบสองถัง (TR)

ค่า pH เฉลี่ยของชุดถังหมักย่อยแบบสองถัง ได้แก่ ชุดทดลอง TR ซึ่งเป็นการหมักร่วมของเศษก้านและใบไม้รวมร่วมกับเศษอาหาร ประกอบด้วย ชุดถังหมัก SR1 ที่มีการถ่ายถังหมักในวันที่ 4 จากถังหมักชุดแรกมายังชุดที่สอง SR2 และชุดทดลอง CTR ซึ่งเป็นชุดควบคุมที่มีเฉพาะเศษอาหารหมัก ประกอบด้วย CTR1 และ CTR2 ทั้ง 2 ชุด เพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้ก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ในสภาวะที่มีการปรับค่า pH ให้มีความเป็นกลางนั้น พบว่ามีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.79 - 7.24 และ 6.27 - 7.54 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4 และมีการทำงานของจุลินทรีย์ภายในระบบหมักของชุดทดลอง TR ที่อุณหภูมิระหว่าง 25 - 35 °C เช่นเดียวกับชุดทดลอง SR เนื่องจากทำการทดลองในถังหมักในเวลาเดียวกันและภายในห้องที่มีสภาวะของอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงอุณหภูมิปกติของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH เฉลี่ยของชุดการหมักย่อยแบบสองถังหมัก

จากรูปที่ 4 พบว่าผลการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในถังหมักแบบสองถังค่อนข้างดีกว่าการหมักแบบถังเดียว ค่าการเปลี่ยนแปลง pH ที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการปรับ pH ให้มีความเป็นกลางอยู่เสมอ จึงทำให้มีสภาวะที่เหมาะสมกับการย่อย อย่างไรก็ตาม การหมักย่อยที่ดีต้องพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นผลจากการใช้อัตราส่วนของวัสดุหมักและอัตราส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

4. ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของวัสดุหมักย่อยเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ

ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยของวัสดุหมักย่อยเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ พบว่ามีระยะเวลาเก็บกักนาน 22 วัน เป็นผลจากค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณคงที่ กล่าวคือเป็นค่าที่ไม่เพิ่มขึ้นและลดลงต่ำกว่าค่าที่ลดลงน้อยที่สุดที่เข้าใกล้ศูนย์ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ของวัสดุเหลือทิ้งผสมเมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ

ชุดทดลอง	TS เข้าระบบ(mg/l)	VS เข้าระบบ (mg/l)	COD (mg/l)	VS/TS	pH
1. SR	32,205±1,640.49	23,365±4,094.15	31,194.80±484.79	0.72	6.99±0.07
2. CSR	34,913±128.69	25,823±357.09	33,124.80±2,201.65	0.74	7.31±0.03
3. TR	26,063±3,814.84	16,585±2,644.58	24,681.60±3,878.34	0.63	6.97±0.04
4. CTR	21,025±8,612.56	13,528±7,300.88	18,511.20±6,787.09	0.64	7.02±0.08

หมายเหตุ	SR	ชุดถังหมักแบบถังหมักเดียว (Single Reactor)
	CSR	ชุดควบคุมแบบถังหมักเดียว (Control Single Reactor)
	TR	ชุดถังหมักแบบสองถัง (Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดียวชุดที่ 1 (SR1) และชุดถังหมักเดียวชุดที่ 2 (SR2)
	CTR	ชุดควบคุมแบบสองถังหมัก (Control Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดียวชุดที่ 1 (CSR1) และชุดถังหมักเดียวชุดที่ 2 (CSR2)

จากตารางที่ 4 เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบพบว่าค่า TS, VS, COD, VS/TS, และ pH มีค่าลดลง โดยเฉพาะค่า VS/TS ของถังหมักแบบสองถังมีค่าลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของสารอินทรีย์ก่อนและหลังเดินระบบ พบว่าการหมักแบบถังเดี่ยว (SR) หลังเดินระบบลดลงเป็น 1.08 เท่าของสารอินทรีย์ก่อนเดินระบบ

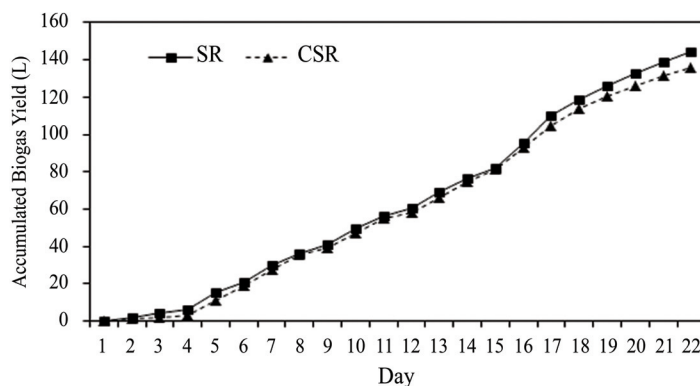
ส่วนชุดควบคุมซึ่งเป็นการหมักเดี่ยว (CSR) หลังเดินระบบลดลงเป็น 1.01 เท่าของสารอินทรีย์ก่อนเดินระบบ ส่วนการหมักแบบสองถัง (TR) หลังเดินระบบลดลงเป็น 1.22 เท่าของสารอินทรีย์ก่อนเดินระบบ ส่วนชุดควบคุมซึ่งเป็นการหมักเดี่ยวแบบสองถัง หลังเดินระบบ (CTR) ลดลงเป็น 1.11 เท่าของสารอินทรีย์ก่อนเดินระบบ กล่าวได้ว่า การหมักแบบสองถังสามารถลดค่าพารามิเตอร์ของสารอินทรีย์ได้มากที่สุด เนื่องจากการแยกถังหมักช่วยปรับสภาพของจุลินทรีย์และวัสดุหมักให้มีความพร้อมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังหมักชุดที่สองได้มากขึ้น [10] จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสารอินทรีย์โดยเฉพาะ VS/TS มีค่าลดลง

5. ผลของผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักย่อยสลาย

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักย่อยสลายของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรดในถังหมักแบบถังเดี่ยวและสองถัง ดังแสดงในรูปที่ 5 - 6

5.1 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดจากการหมักแบบถังเดี่ยว (SR)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเฉลี่ยที่เกิดจากการหมักแบบถังเดี่ยว (SR) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดลอง SR และชุดควบคุม CSR พบว่าชุดทดลอง SR ซึ่งเป็นการหมักแบบสองถังของเศษก้านและใบไม้รวมร่วมกับเศษอาหาร ให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าชุดทดลอง CSR ซึ่งเป็นการหมักย่อยเศษอาหารเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 5

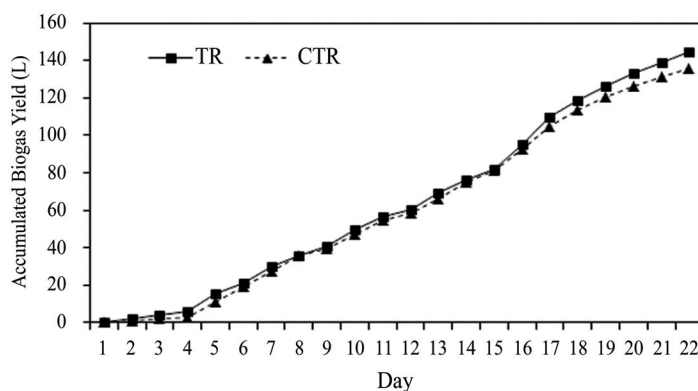


รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบถังเดี่ยว

จากรูปที่ 5 พบว่าชุดทดลองถังหมักแบบถังเดี่ยว SR และ CSR มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยชุด SR และ CSR ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจำนวน 139.5 ลิตร และ 120.75 ลิตร ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาหมักหรือเก็บกักนานเท่ากัน 22 วัน

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดจากการหมักแบบสองถัง (TR)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเฉลี่ยที่เกิดจากการหมักแบบสองถัง (TR) เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างชุดทดลอง TR (144.5 ลิตร) และชุดควบคุม CTR (135.7.5 ลิตร) พบว่าให้ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมไม่ต่างกันมากนัก ดังรูปที่ 6

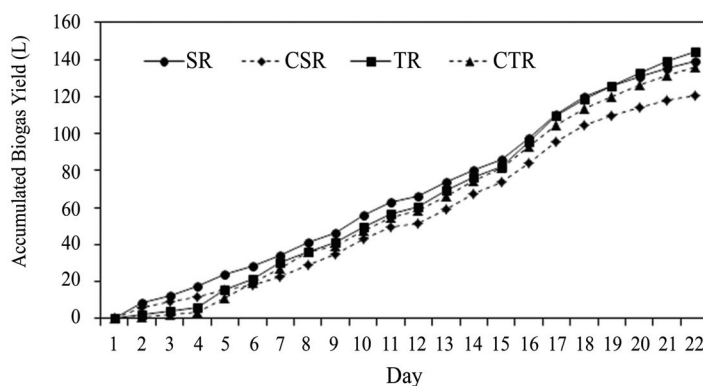


รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยแบบสอง

โดยชุดทดลอง TR และ CTR ภายหลังจากการถ่ายถังในวันที่ 4 แล้ว พบว่ามีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 และลดลงในวันที่ 6 จึงทำการป้อนเศษอาหารในวันที่ 6 เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและทำงานได้ดี และมีการป้อนเศษอาหารอีก ในวันที่ 9 12 และ 15 ตามลำดับ จนสิ้นสุดการเดินระบบในวันที่ 22 ของการทดลอง เนื่องจากปริมาณก๊าซมีค่าคงที่ คือ ไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงต่ำกว่าค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้น

5.3 ผลของปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดจากการหมักย่อยแบบถังเดียวและสองถัง (SR และ TR)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเกิดจากการหมักย่อยแบบถังเดียวและสองถังดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณก๊าซสะสมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายในทุกระบบการทดลอง

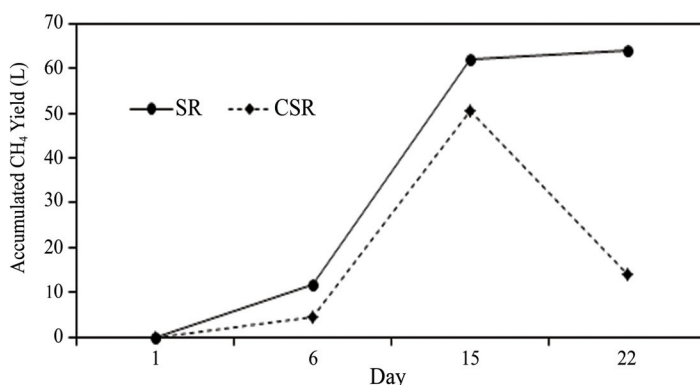
โดยพบว่าการหมักร่วมระหว่างเศษก้านและใบไม้ของมะม่วง ลิ้นจี่ และสั๊ก และเศษอาหาร ในชุดทดลองแบบสองถัง TR ให้ปริมาณก๊าซสะสมเฉลี่ยสูงสุด (144.5 ลิตร) รองลงมาเป็นการหมักแบบถังเดี่ยว SR (139.25 ลิตร) และการหมักเดี่ยวแบบสองถัง CTR (135.75 ลิตร) ส่วนการหมักเศษอาหารเพียงอย่างเดียวในชุดทดลองแบบถังเดี่ยว CSR ให้ปริมาณก๊าซเฉลี่ยน้อยที่สุด (120.75 ลิตร) ใช้ระยะเวลาเก็บกักนาน 22 วันเท่ากัน และมีค่าแตกต่างจากชุดทดลองแบบถังเดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

6. ผลของปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบถังเดี่ยวและแบบสองถัง

ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบถังเดี่ยวและแบบสองถัง มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 8 - 9

6.1 ผลของปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบถังเดี่ยว (SR)

พบว่าชุดทดลองแบบถังเดี่ยว (SR) มีค่าก๊าซมีเทนอยู่ระหว่างร้อยละ 34.9 - 72.50 และชุดควบคุมแบบถังเดี่ยว (CSR) มีค่าก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 11.70 - 72.00 เมื่อคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ยจากค่าร้อยละดังกล่าว จากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ทำให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบถังเดี่ยวดังรูปที่ 8

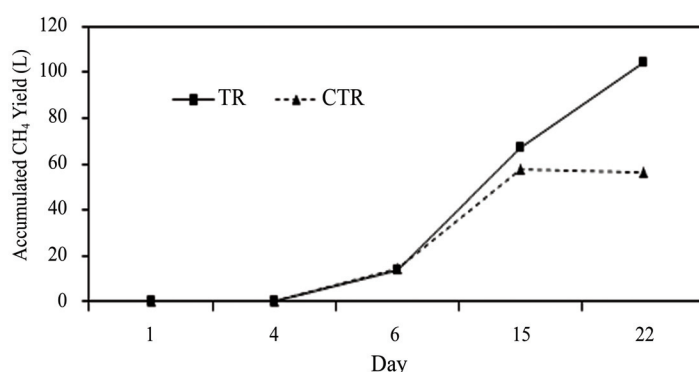


รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดขึ้นจากชุดถังหมักแบบถังเดี่ยว

พบว่าชุดทดลอง SR ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ย (63 ลิตร หรือ 1.09 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมของของแข็งระเหย (VS_{removed}) มากกว่าชุดทดลอง CSR ซึ่งมีการหมักเศษอาหารเพียงอย่างเดียว (14 ลิตร หรือ คิดเป็น 0.36 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS_{removed}) ใช้ระยะเวลาเก็บกักที่เท่ากันนาน 22 วัน

6.2 ผลของปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบสองถัง (TR)

พบว่าชุดทดลองแบบสองถัง (TR) มีค่าก๊าซมีเทนอยู่ระหว่างร้อยละ 1.9 - 85.6 และชุดควบคุมแบบสองถัง (CTR) มีค่าก๊าซมีเทนอยู่ระหว่างร้อยละ 0.3 - 75.4 เมื่อคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ยจากค่าร้อยละดังกล่าวจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ ทำให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของชุดถังหมักแบบสองถัง ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่เกิดขึ้นจากชุดถังหมักแบบสองถัง

โดยพบว่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมของถังหมักแบบสองถังที่มีการหมักร่วมระหว่างเศษก้านและใบไม้ของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด และเศษอาหาร ในชุด TR ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ย (104 ลิตร คิดเป็น 1.43 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมของของแข็งระเหย ($VS_{removed}$) มากกว่าแบบสองถังในชุด CTR ซึ่งมีเศษอาหารอย่างเดียว (57 ลิตร หรือคิดเป็น 1.22 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม $VS_{removed}$) และการหมักร่วมแบบสองถังยังให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมมากที่สุด แตกต่างจากแบบถังเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

7. ผลของชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากชุดถังหมักแบบถังเดียวและแบบสองถัง

พบว่าชุดทดลองแบบสองถัง (TR) มีค่าชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพสูงที่สุดในวันที่ 15 ภายหลังจากการป้อนเศษอาหารลงในระบบหมัก จำนวน 3 ครั้ง (วันที่ 15) และเป็นวันที่ทำการป้อนเศษอาหารครั้งที่ 4 ซึ่งเป็นครั้งสุดท้ายก่อนสิ้นสุดการเดินระบบหมัก (วันที่ 22) มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากชุดถังหมักแบบถังเดียวและแบบสองถัง

ชนิด ของก๊าซ	ชุดทดลองและวันที่ทำการวัดชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ											
	SR			CSR			TR			CTR		
	วันที่ 6	วันที่ 15	วันที่ 22	วันที่ 6	วันที่ 15	วันที่ 22	วันที่ 6	วันที่ 15	วันที่ 22	วันที่ 6	วันที่ 15	วันที่ 22
CH ₄ : %	41.95	72.50	45.90	28.50	68.55	11.75	65.60	82.00	72.45	70.85	74.85	52.00
CO ₂ : %	52.55	21.00	37.25	66.00	21.00	31.25	29.00	14.00	22.00	24.65	22.15	37.00
O ₂ : %	5.50	3.50	3.00	5.50	5.00	4.00	5.40	4.00	3.00	4.50	3.00	2.50
H ₂ S : ppm	109.00	48.00	7.50	70.00	79.50	2.00	54.50	63.00	8.00	5.00	67.00	8.00
อื่น ๆ : %	0.00	3.00	13.85	0.00	5.45	53.00	0.00	0.00	2.55	0.00	0.00	8.50

หมายเหตุ : อื่น ๆ หมายถึง ก๊าซแอมโมเนีย และไอน้ำ เป็นต้น

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าชนิดและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่วัดได้ของชุดถังหมักแบบสองถัง มีค่าร้อยละของก๊าซมีเทนสูงกว่าแบบถังเดี่ยว สอดคล้องกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และมีค่าร้อยละของก๊าซอื่น ๆ ของชุดถังหมักแบบสองถังน้อยกว่าแบบถังเดี่ยว สอดคล้องกับผลการศึกษา [8] เมื่อสิ้นสุดการเดินระบบ แม้ในถังหมักแบบสองถังมีค่าร้อยละของก๊าซมีเทนสูงกว่าแบบถังเดี่ยว แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพไม่ได้มีค่าที่เพิ่มขึ้น ยังคงมีค่าลดลงและคงที่ กล่าวได้ว่าค่าร้อยละของก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นขึ้นกับชนิดของถังหมัก สภาวะที่ใช้ในการหมักคือความเป็นกลาง และยังขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจน ได้แก่ การกวน ระยะเวลา และจำนวนครั้งของการป้อนเศษอาหารที่มีผลต่อระยะเวลาที่เก็บในถังหมัก เป็นต้น ซึ่งมีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับผลการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ [10]

8. ผลของประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในถังหมักแบบถังเดี่ยวและสองถัง

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในถังหมักแบบถังเดี่ยวและสองถังมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษวัสดุเหลือทิ้งผสมในระหว่างเดินระบบ

ชุดทดลอง	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งรวม TS (%)	ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหย VS (%)	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD (%)
1. SR	69 %	71 %	67 %
2. CSR	60 %	60 %	61 %
3. TR	78 %	82 %	75 %
4. CTR	75 %	77 %	77 %

หมายเหตุ	SR	ชุดถังหมักแบบถังหมักเดี่ยว (Single Reactor)
	CSR	ชุดควบคุมแบบถังหมักเดี่ยว (Control Single Reactor)
	TR	ชุดถังหมักแบบสองถัง (Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 1 (SR1) และชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 2 (SR2)
	CTR	ชุดควบคุมแบบสองถังหมัก (Control Two Reactors) ประกอบด้วยชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 1 (CSR1) และชุดถังหมักเดี่ยวชุดที่ 2 (CSR2)

จากตารางที่ 6 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของชุดถังหมักแบบสองถังทั้งที่มีการหมักรวมและหมักเดี่ยว (TR และ CTR) มีค่าร้อยละ 75 - 82 ซึ่งการหมักย่อยแบบสองถังมีประสิทธิภาพการกำจัดดีกว่าการหมักแบบถังเดี่ยว เนื่องจากจุลินทรีย์ทำงานได้ดีกว่า สอดคล้องกับผลการศึกษา [4] ที่พบว่าประสิทธิภาพการหมักย่อยสารอินทรีย์แบบสองชั้นตอนมีค่าสูงอยู่ระหว่างร้อยละ 83 - 84

9. ผลพลอยได้อื่น ๆ และการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เมื่อสิ้นสุดการหมักย่อยของถังหมักแบบถังเดี่ยวและสองถัง พบว่ามีผลพลอยได้อื่น ๆ ได้แก่ ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี [4] กล่าวคือ มีค่าปริมาณไนโตรเจน (N) ร้อยละ 0.33 - 0.35

ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.20 - 0.25 และโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 0.09 - 0.13 รวมทั้งได้กากตะกอนที่เหลือจากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพสำหรับใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักทำปุ๋ยอินทรีย์อีกด้วย กากตะกอนดังกล่าวในชุดทดลองหมักแบบสองถังคงเหลือร้อยละ 17 - 20 และในชุดทดลองหมักแบบถังเดียวคงเหลือร้อยละ 30 - 35 เมื่อนำไปใช้งานในระดับครัวเรือนขนาด 200 ลิตร ในชุมชนคันธง จังหวัดลำพูน โดยใช้ถังหมักแบบถังเดียวที่มีใบพัดกวนผสมซึ่งอยู่ในถัง พบว่าให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการหุงต้มได้จริง [12]

สรุปผลและการอภิปรายผล

การหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจนของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด และเศษอาหารที่อัตราส่วน 3 : 2 และอัตราส่วนของเสียต่อเชื้อจุลินทรีย์ 0.2 ในถังหมักแบบถังเดียวและสองถังในสภาวะเป็นกลาง เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียชนิด Mesophilic ที่อุณหภูมิ 25 - 35 °C ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนขึ้นจากวัสดุหมักและจากการป้อนเศษอาหารจำนวน 4 ครั้ง ใช้ระยะเวลาถังเก็บนาน 22 วัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวมีผลทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดี การหมักย่อยนี้จัดเป็นการหมักย่อยของเศษอาหาร และเศษก้านและใบไม้รวมที่ต่างชนิดกันกับการศึกษาครั้งก่อน [10] และค่าผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้มีค่ามากกว่าการหมักรวมที่อัตราส่วนเดียวกันของเศษก้านและใบไม้รวมของมะม่วง ลิ้นจี่ และสัปปะรด โดยไม่มีการป้อนอาหาร (136.2 ลิตร ในระยะเวลา 15 วัน) ซึ่งใช้วิธีการหมักย่อยแบบสองขั้นตอน [4] ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้จากชุดทดลองแบบสองถังที่ใช้วิธีการหมักย่อยในสภาวะที่เป็นกลางทั้งแบบถังเดียวและสองถัง สามารถให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนที่ดี และมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปต่าง ๆ สูง (ร้อยละ 75 - 82) และการหมักรวมแบบสองถังให้ปริมาณก๊าซมีเทนได้สูงสุด 104 ลิตร หรือคิดเป็น 1.43 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS_{removed} ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ได้จากการหมักรวมระหว่างน้ำเสียและสาหร่ายขนาดเล็กแบบถังเดียว (0.33 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS_{removed}) ที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา [12] การหมักแบบถังเดียว ให้ปริมาณก๊าซมีเทนน้อยที่สุด 14 ลิตร หรือคิดเป็น 0.36 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS_{removed} ซึ่งมีค่าสูงกว่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมที่ได้จากการหมักรวมระหว่างน้ำเสียและสาหร่ายขนาดเล็ก (0.33 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม VS_{removed}) เพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุหมักและอัตราส่วนของเสียต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ดี ซึ่งทำให้เกิดการย่อยสลายได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีข้อเสนอแนะว่า ควรนำการหมักรวมแบบสองถังในสภาวะความเป็นกลางไปพัฒนาและขยายผลในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการหมักย่อยในสภาวะไร้ออกซิเจน รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้งานในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็ง [13]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ให้การสนับสนุนการศึกษาวัยครั้งนี้ ได้แก่ เจ้าของฟาร์มสุกร และร้านอาหารภายในจังหวัดเชียงใหม่ รวมทั้งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่

References

- [1] Speece, R. E. (1996). **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters**. Archae Press, USA
- [2] Department of Industrial Work. (2002). **The Step on Organic Digestion in Anaerobic Wastewater Treatment**. Association of Thai Environmental Engineering, Bangkok
- [3] Jitphupakdee, J. (2009). **Two Stage Biogas Production**. Access (20 November 2015). Available (<http://www.bioproduct.kmutnb.ac.th>)
- [4] Panyaping, K., Kantiya, S., Nanta, S., Jitmettatham, S., and Siripataranukul, A. (2016). Two Stage Anaerobic Digestion of Mixed Waste for Biogas Generation. **The 3rd Conference on Research and Creative Innovations: CRCI - 2016**. eds. Chiang Mai
- [5] Panyaping, K., Kantiya, S., Pramoonjukko, P., and Boonyoung, S. (2017). Single and Two Stages Anaerobic Digestion of Mixed Waste. **The 4th Conference on Research and Creative Innovations: CRCI - 2016**. eds. Chiang Mai. pp. 33-38
- [6] Bouallagui, H. (2004). **Two Stage Biogas Production**. Access (20 November 2015). Available (<http://www.bioproduct.kmutnb.ac.th>)
- [7] Metcalf & Eddy Inc. (2008). **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse**. 4th ed., McGraw-Hill Book Company, USA
- [8] Panyaping, K., Sutinan, N., Tananchai, P., and Muangkhanjai, U. (2012). Anaerobic Digestion Development of Leaves and Petioles of Longan Waste Residues to Generate Biogas and by Products. **KKU Research Journal**. Vol. 17, No. 4, pp. 543-555
- [9] APHA, AWWA, and WPCF. (2005). **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. Washington DC, USA
- [10] Panyaping, K. and Moontee, P. (2018). Potential of Biogas Production from Mixed Leaf and Food Waste in Anaerobic Reactors. **Journal of Material Cycles & Waste Management**. Vol. 20, Issue 2, pp. 723-737
- [11] Siriananpiboon, S. (2007). **Anaerobic Biological Wastewater Treatment**. 1st ed. Bangkok: Top Publisher
- [12] Panyaping, K., Khiewwijit, R., and Wongpankamol, P. (2019). Technology Transfer on Organic Waste Transformation in Local Community of Lamphun. In **Proceedings of the 1st ICRU International Conference: Sustainable Community Development**. eds. Chiang Mai. pp. 7-14
- [13] Panyaping, K., Khiewwijit, R., and Wongpankamol, P. (2018). Enhanced Biogas Production Potential of Microalgae and Swine Wastewater using Co-digestion and Alkaline Pretreatment. **Water Science & Technology**. Vol. 78, Issue 1, pp. 98-102. DOI: 10.2166/wst.2018.077